昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，August 2005，48(4)：537－543 ISSN 0454-6296

不同种植方式下转 Bt 基因水稻对稻田节肢动物群落的影响

蔡万伦[1]，石尚柏[1]，杨长举[1*]，彭于发[2]

(1. 华中农业大学植物科学技术学院，武汉 430070；2. 中国农业科学院植物保护所，北京 100094)

摘要：如何设置庇护所使其在转基因作物靶标害虫抗性治理中达到更高的效率，就此，本文研究了 Bt 水稻与非 Bt 水稻不同种植方式对 Bt 稻田节肢动物群落的影响。结果表明，整体上，块块种植和列列混栽方式对 Bt 稻田节肢动物群落多样性、均匀度和优势集中性无显著影响；但混栽方式下的 Bt 稻田节肢动物群落个体密度和物种丰富度显著偏低。在水稻发育中期，混栽方式下 Bt 稻田节肢动物群落季节动态与块块种植方式下的明显不同，其多样性、均匀度、优势集中性指数均类似于同种植方式下非 Bt 稻上各参数的季节动态。混栽方式下的庇护所效应更明显。

关键词：转 Bt 基因水稻；种植方式；庇护所；节肢动物群落；多样性

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2005)04-0537-07

Difference of arthropod communities in Bt rice paddies under different cropping patterns

CAI Wan-Lun[1], SHI Shang-Bai[1], YANG Chang-Ju[1*], PENG Yu-Fa[2] (1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to evaluate the effect of the cropping pattern applied refuge on arthropod community in Bt rice paddy, the survey was conducted with the block cropping pattern, in which the block of refuge was along side the block of Bt rice, and the mixed cropping pattern, in which rows of refuge was planting within rows of transgenic Bt rice. The results showed that there was no significantly difference in diversity, evenness and dominant concentration of arthropod communities between two cropping patterns during the whole period of rice growth, but the species richness and individual density of arthropods in the mixed cropping pattern were significantly lower than those in the block cropping pattern. Furthermore, the dynamics of diversity, evenness and dominant concentration of arthropod community in Bt rice paddy under the mixed cropping pattern were remarkably different with those under the block cropping pattern, but similar to those in non-Bt rice refuge during the middle period of rice growth. This suggests that the mixed cropping pattern is more effective than the block cropping pattern.

Key words: Transgenic Bt rice; cropping pattern; refuge; arthropod community; diversity

近年来国外对转基因作物安全性研究已经取得很大进展(樊龙江和周雪平，2000)，国内研究主要集中在转基因棉花上(崔金杰和夏敬源，2000；邓曙东等，2003)，转基因水稻的安全性评价研究则处于初期阶段，相对滞后。相关研究结果表明，转 Bt 水稻对稻田节肢动物群落基本无明显的负面影响(刘志诚等，2002，2003；王中华等，2002；傅强等，2003)。但是从转 Bt 水稻对靶标害虫的高度专一性来看，不能不对前面的研究持更谨慎的态度。

在害虫抗性治理中有一个被普遍认可的策略，那就是'庇护所(Refuge)'策略，该策略认为：在种植高抗作物的同时，在其附近种植一定面积敏感品系

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目(001CB109004)

作者简介：蔡万伦，男，1976 年生，湖北松滋人，博士，主要从事转基因水稻生态安全研究，E-mail：dadi-jinling@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：changjuyang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received：2004-09-30；接受日期 Accepted：2005-01-14

作物，使其靶标害虫能在敏感品系作物田块中存活，从而达到延缓靶标害虫抗性的提高和保护田间生物群落的目的（樊龙江和周雪平，2000）。这一策略也被认为是保护转基因抗虫作物田间生态群落，延缓靶标害虫抗性的有效方法。但‘庇护所’应该多大，与主要种植作物的格局如何（种植方式），才能起到庇护所的作用，以及庇护所与转基因作物田间节肢动物群落相互影响，尚少见报道。出于以上考虑，我们以转 Bt 基因水稻为对象，研究了不同种植方式对转 Bt 稻田节肢动物群落的影响。

1 材料与方法

1.1 供试水稻品种

转 Bt 基因水稻：转 *Cry* Ⅰ *Ab*/*Cry* Ⅰ *Ac* 基因的汕优 63（简称 Bt 稻，BtR），对二化螟 *Chilo suppressalis* 表现为高抗，由华中农业大学生命科学院提供。对照品种：普通汕优 63（简称对照稻），从当地市场购得。

1.2 试验设计与调查方法

1.2.1 试验设计：2003 年在华中农业大学进行田间试验，试验田为一东西走向的长方形田块，面积约 1 334 m^2，一面临湖，另三面均为非稻田区（棉田，玉米田，蔬菜田），田间设计如下：

A. Bt 稻和对照稻按小区面积不同比例块块种植：

处理 1：Bt 稻（BtR1）和对照稻（CR1）面积比 =（7.7 × 13.5）m^2：（7.7 × 1.5）m^2 = 9∶1，株、行距均为 20 cm。

处理 2：Bt 稻（BtR2）和对照稻（CR2）面积比 =（7.7 × 14.25）m^2：（7.7 × 0.75）m^2 = 19∶1，株、行距均为 20 cm。

B. 处理 3：Bt 稻（BtR）和对照稻（CR）列列相间混栽种植，即 Bt 水稻一列，对照稻一列，行距为 5 cm，株距为 20 cm，栽种面积为（15 × 8）m^2。

C. 对照：单一种植 Bt 稻（CK1），株、行距均为 20 cm，栽培面积（8 × 15）m^2。

单一种植对照稻（CK2），株、行距均为 20 cm，栽培面积（8 × 15）m^2。

以上各处理小区及对照在试验田中从东向西随机排列，间距 4 m，试验田四周田边种植 2 m 宽的对照稻作保护行。

试验于 5 月 14 日催芽，5 月 17 日播种，6 月 20 日插秧，每蔸一苗。常规管理，不施用任何农药。

1.2.2 调查时间和方法：从移栽的稻苗成活后开始大田调查，第一次调查时间为 7 月 7 日，以后每 5 天调查一次，到水稻收割前一周左右停止，共调查 14 次，最后一次调查时间为 9 月 13 日。试验调查为定蔸调查，块块种植小区的调查采取平行线抽样法在大块田取 16 个点，小块田取 12 个点，每点 5 蔸苗；混栽种植小区的调查为小区 5 点抽样，每点连续各查 Bt 水稻与对照稻 5 蔸苗。调查时逐蔸检查水稻苗上的节肢动物，小型及微型节肢动物用拍盘法，收集的节肢动物用 75% 酒精浸泡保存，带回实验室鉴定，尽可能鉴定至种，没条件鉴定出种的鉴定至科。特殊虫态，如稻株上的卵块、蛹等当时无法鉴定，则连稻株一起采回室内，保湿培养，直至其孵化出幼虫或成虫羽化后再作鉴定。在二化螟、三化螟 *Tryporyza incertulas* 以及稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 危害盛期，进行卷叶数、枯心数、白穗数等的调查，其中枯心和白穗数为全田调查。部分标本现在实验室内保藏。

1.3 分析方法

统计大田调查后稻田中所有节肢动物群落的结构与组成（包括分科、种类、数量等）。以种为单位，参照张孝羲（2001）计算物种丰富度（S）、生物多样性指数（H'）、均匀度（J'）和优势集中性（dominant concentration，C）。种群密度为每个处理小区中平均每蔸水稻上的节肢动物数量。

对处理田块各参数的 14 次调查数据进行方差分析，Duncan 法检验田块间差异显著性，t 测验检验单次调查的品种间差异。以上所有参数计算及统计分析结果均通过 DPS 软件（唐启义和冯明光，1997）计算得到。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对节肢动物物种丰富度的影响

稻田全生育期节肢动物群落参数如表 1。共收集到节肢动物 101 种，隶属于 12 目 59 科。其中 Bt 稻上害虫 28 种隶属于 7 目 15 科，白背飞虱 *Sogatella furcifera* 为常见种，在水稻分蘖期为害虫优势种，稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟等靶标害虫发生极少；天敌 45 种隶属于 7 目 22 科，蜘蛛目中的沟渠豹蛛 *Pardosa laura*、圆尾肖蛸 *Tetragnatha shikokiana* 和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* 在水稻生长中后期为整个节肢动物群落优势种；中性昆虫 15 种隶属于 6 目 8 科，常见有摇蚊类昆虫主要在水稻分蘖前期出现，弹尾目昆虫在水稻生长后期常见。对照稻

上害虫 34 种隶属于 7 目 17 科，水稻分蘖期优势种为白背飞虱、二化螟，但水稻生长中、后期则为稻纵卷叶螟、三化螟；天敌 48 种隶属于 9 目 23 科，优势种与 Bt 稻上一样；中性昆虫 16 种隶属于 6 目 8 科，优势种也类似于 Bt 稻上的物种。可见，除靶标害虫外，Bt 稻上的节肢动物种类、数量及组成与非转 Bt 稻很接近。

表 1　不同种植方式下转 Bt 水稻全生育期节肢动物群落参数（湖北武昌，2003）

Table 1　Parameters of arthropod community in transgenic Bt rice paddies during the whole period of sampling under different cropping patterns (Wuchang, Hubei, 2003)

处理 Treatment		物种数 Species number	密度(头/蔸) Density (number/hill)	多样性 H'	均匀度 J'	优势集中性 Dominant concentration
Ⅰ	BtR1	12.7 ± 0.8 bc	2.3 ± 0.2 c	3.0551 ± 0.1592 abc	0.8384 ± 0.03 ab	0.1857 ± 0.0299 b
	CR1	11.1 ± 0.9 cd	2.6 ± 0.2 bc	2.8931 ± 0.1838 c	0.8400 ± 0.0359 ab	0.2005 ± 0.0393 b
Ⅱ	BtR2	12.6 ± 0.9 b	2.2 ± 0.2 c	3.2341 ± 0.1803 ab	0.8592 ± 0.0365 a	0.1643 ± 0.0403 b
	CR2	11.6 ± 0.9 bcd	2.4 ± 0.3 bc	2.9648 ± 0.1587 bc	0.8487 ± 0.0273 ab	0.1917 ± 0.0307 b
Ⅲ	BtR	9.39 ± 0.5 e	1.1 ± 0.1 d	2.5599 ± 0.1861 cd	0.7894 ± 0.0496 b	0.2633 ± 0.0513 a
	CR	10.7 ± 1.0 de	1.3 ± 0.2 d	2.7781 ± 0.2091 cd	0.8192 ± 0.0486 ab	0.2243 ± 0.052 ab
Ⅳ	CK1	15.4 ± 0.8 a	2.8 ± 0.1 ab	3.2644 ± 0.1542 a	0.8345 ± 0.0286 ab	0.1676 ± 0.0278 b
	CK2	16.0 ± 0.9 a	3.3 ± 0.2 a	3.2638 ± 0.1111 a	0.8305 ± 0.0191 ab	0.1673 ± 0.0178 b

注：表中数据为平均值 ± 标准误，数据后不同字母表示同一列各处理田块之间差异显著 $P < 0.05$。BtR1 和 CR1，BtR2 和 CR2，BtR 和 CR 分别为按不同面积比或混栽田中的 Bt 稻与对照稻；CK1 和 CK2 分别为单一种植的 Bt 稻与对照稻；后同。

Notes: The data in the table are mean ± *SE* and those in the same column followed by different letters indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test. Bt Rice (BtR1, BtR2) and control rice (CR1, CR2) cross planted in area ratio of 9∶1 and 19∶1 in treatment Ⅰ and Ⅱ respectively; BtR and CR cross planted row by row in treatment Ⅲ; BtR (CK1) and CR (CK2) planted in whole plot in treatment Ⅳ; the same below.

由表 1 看出：3 种不同种植方式的 6 个不同处理及对照田块，其节肢动物物种丰富度顺序为 CK1 > CK2 > BtR2 > BtR1 > CR2 > CR1 > CR > BtR，3 种种植 3 个处理内不同品种间比较均无显著性差异，即 Bt 稻与对照稻上的节肢动物群落物种丰富度在整个调查期内差异不显著，此外混栽方式下无论是 Bt 稻还是对照稻，其物种数均显著低于另外 2 个按块块种植的田块以及两个对照田块。对比图 1 A 和 B 发现，所有 Bt 稻田块中的物种丰富度变化动态均比其相应对照田块中的波动平缓，说明在整个调查期内，Bt 稻上节肢动物群落物种数变化比对照稻上的稳定。不同种植方式下，同为 Bt 稻的几个田块中的物种丰富度动态曲线差别明显，混栽方式下 Bt 田块(BtR)的曲线在其他 3 条曲线之下且波动较小(图 1：A)；同为对照稻的几个田块中的物种丰富度动态曲线也有差别，种植对照稻 CR1 与 CR2 田块物种丰富度曲线的走向基本一致，而 CR 田块的曲线分别在前期(7 月 17 日)与中后期有个波峰和谷底，明显不同于块块种植的对照稻田中的物种丰富度动态(图 1：B)。

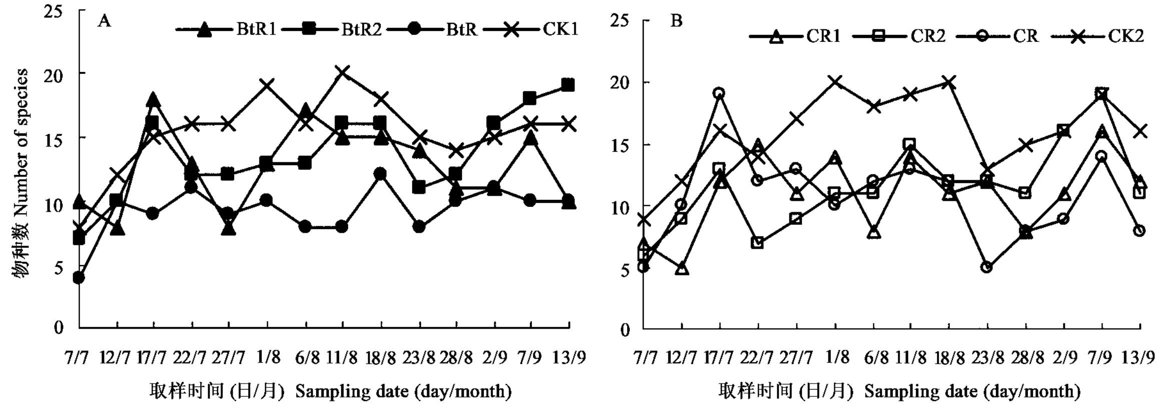

图 1　不同种植方式下稻田节肢动物群落物种数动态

Fig. 1　Dynamics of species richness of arthropods in rice paddies under different cropping patterns

A：Bt 稻小区(行) Bt rice section (row)；B：对照稻小区(行) Non-Bt section (row).

2.2　不同种植方式对节肢动物群落多样性的影响

3 种不同种植方式的 6 个处理及对照田块的节肢动物群落多样性指数顺序为 CK1 > CK2 > BtR2 > BtR1 > CR2 > CR1 > CR > BtR，同处理内不同

品种间均无显著差异，即 Bt 稻与对照稻上的节肢动物群落多样性在整个调查期内差异不显著，不同种植方式下绝大多数田块间也无显著差异(表 1)。

图 2 显示，所有田块的群落多样性在 7 月 27 日均有一个低谷出现，但所有 Bt 稻下降波幅明显大于所有对照稻田块，其降幅(与前次调查数据之差)均值分别为 – 0.8555、– 0.2553。差异极显著(t = 15.38；P < 0.01)。

从不同种植方式来看，8 月份的群落多样性动态，混栽方式下的 Bt 稻田块明显不同于其他方式下的 Bt 稻田块，反而与所有对照稻田块相似。图 2A 显示，除混栽方式下的 Bt 稻田块(BtR)外，另外 3 条曲线在 8 月均出现一个波峰，而 BtR 则出现一个波谷，峰顶与谷底均出现在 8 月 11 日左右。同一时期的各个对照田块与 BtR 一样，也为波谷，谷底在 8 月 11 日左右(图 2：B)。此外，对比图 2 A 和 B 混栽方式下的转 Bt 稻(BtR)与对照稻(CR)曲线可以发现，均在 8 月存在一个降幅相近的大波谷，但出现时间不同，前者在 8 月 11 日达到最低，后者在 8 月 23 日，延迟了 12 天，其降幅分别为 – 0.8735 和 – 1.2432。

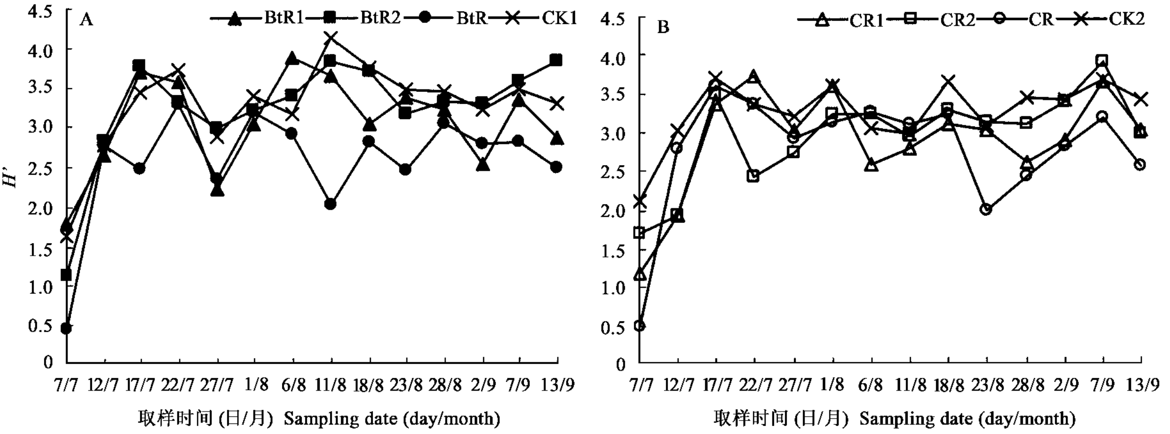

图 2 不同种植方式下稻田节肢动物群落多样性动态

Fig. 2 Dynamics of the diversity index (H') of arthropods in rice paddies under different cropping patterns
A：Bt 稻小区(行) Bt rice section (row)；B 对照稻小区(行) Non-Bt section (row).

2.3 不同种植方式对节肢动物群落均匀度的影响

3 种不同种植方式的 6 个处理以及两个对照田块的节肢动物群落均匀度的顺序为 BtR2 > CR2 > CR1 > BtR1 > CK1 > CK2 > CR > BtR，无论是处理内不同品种间还是不同处理田块间均无显著差异(表 1)。

在 7 月(图 3)，所有田块的均匀度均有个波谷，谷底在 7 月 27 日，但 Bt 稻田块的降幅明显大于对照稻田块(降幅均值分别为 – 0.1766 和 – 0.0793)，差异显著(t = 3.21；P < 0.05)。

与群落多样性动态相似，8 月份的均匀度动态，混栽模式下的 Bt 稻田块明显不同于其他模式下的

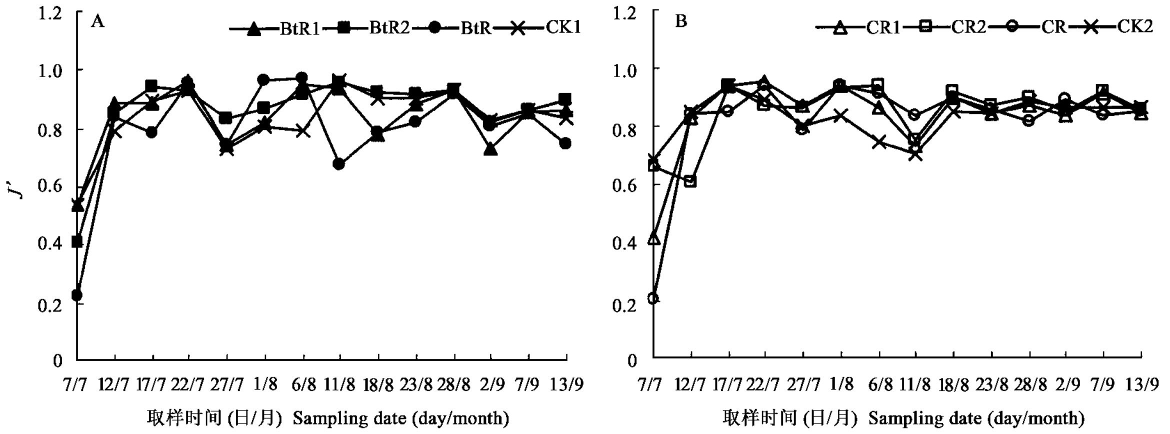

图 3 不同种植方式下稻田节肢动物群落平均度动态

Fig. 3 Dynamics of the evenness index (J') of arthropods in rice paddies under different cropping patterns
A：Bt 稻小区(行) Bt rice section (row)；B 对照稻小区(行) Non-Bt section (row).

Bt 稻田块，反而与所有对照稻田块相似（图 3：A），均存在一个明显波谷，谷底在 8 月 11 日左右。值得注意的是，同样在 8 月 11 日，尽管所有对照稻田块均有一个波谷存在，但混栽模式下的对照稻田块（CR）要高于另外 2 个处理及对照 CK2（CR、CR1、CR2、CK2 的均匀度分别为 0.8361、0.7334、0.7571、0.7083），这说明 CR 上的节肢动物群落要比其他模式下 3 个对照稻上的稳定（图 3：B）。

2.4　不同种植方式对节肢动物群落优势集中性的影响

从表 1 可知，3 种不同种植方式的 6 个处理以及对照田块相比，其节肢动物群落优势集中性的顺序为 BtR ＞ CR ＞ CR1 ＞ CR2 ＞ BtR1 ＞ CK1 ＞ CK2 ＞ BtR2。多重比较显示除混栽方式下的 Bt 稻（BtR）外其余各个处理田块间均无显著差异，BtR 与同处理的 CR 也无显著差异，以上说明从整个调查期来看，种植方式对稻田节肢动物群落优势集中性影响不大。

从图 4 可以看到，所有田块在 7 月底都出现了一个波峰，峰顶在 7 月 27 日，但所有 Bt 稻田块的上升幅度要高于对照稻田块（升幅均值分别为 0.1376 和 0.0444）。t 测验显示 7 月 27 日品种间的优势集中性无显著差异（$t = 1.67$；$P = 0.1935$），但是品种间的优势集中性升幅存在显著差异（$t = 5.33$；$P < 0.05$）。说明这一时期，Bt 田块节肢动物群落优势集中性波动比对照田块更大。

对应于群落多样性与均匀度曲线动态，混栽方式下的 Bt 稻田块同样在 8 月显示出与其他模式下转 Bt 稻田块不同变动趋势，反而与对照稻田块相似，均出现了一个波峰，峰顶在 8 月 11 日（图 4：B）。此外，混栽方式下 Bt 稻与对照稻在 8 月出现的波峰时间不同，前者在 8 月 11 日达到顶峰，而后者与多样性动态一样，延迟了 12 天，出现在 8 月 23 日，而其他方式下的对照稻田块在 8 月 11 日出现一个波峰后再无明显波峰出现。以上说明，不同种植方式对 Bt 稻和对照稻的节肢动物群落优势集中性有明显影响，混栽方式种植使其 Bt 稻节肢动物群落稳定性变化趋向于对照稻田块上的变化。

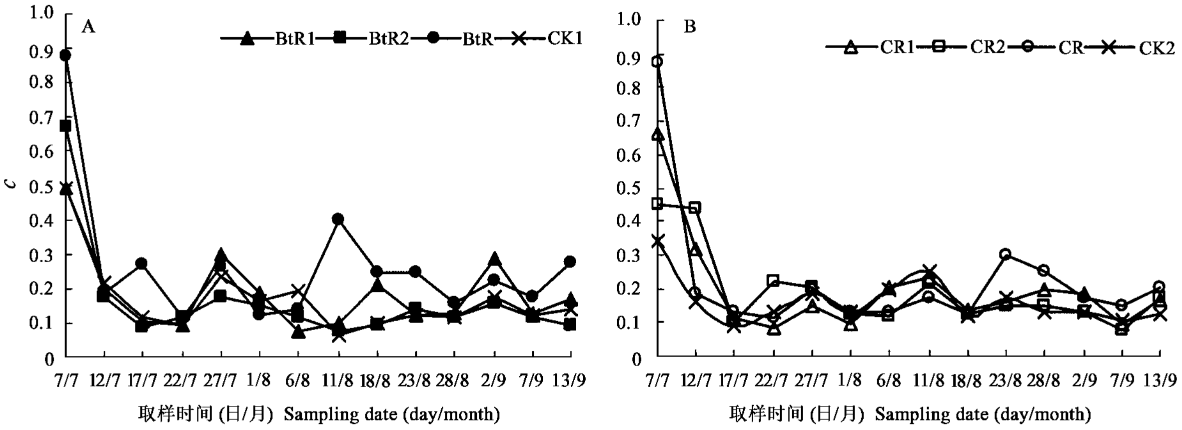

图 4　不同种植方式下稻田节肢动物群落优势集中性动态

Fig. 4　Dynamics of the dominant concentration（C）of arthropods in rice paddies under different cropping patterns

A：Bt 稻小区（行）Bt rice section（row）；B 对照稻小区（行）Non-Bt section（row）.

2.5　不同种植方式对田间节肢动物群落个体密度的影响

从表 1 中可知，所有处理田块节肢动物群落个体密度大小顺序为 CK2 ＞ CK1 ＞ CR1 ＞ CR2 ＞ BtR1 ＞ BtR2 ＞ CR ＞ BtR，混栽方式下两个处理田块 BtR 和 CR 上的节肢动物密度不存在显著差异但均显著低于其他各个处理田块，此外其余各个处理内品种间不存在显著差异。个体密度的季节动态，混栽方式下无论是 Bt 稻（BtR）还是对照稻（CR），均明显处于其他方式下同一品种的曲线之下，波动幅度小（图 5）。可见无论是 Bt 稻还是对照稻，种植方式对其节肢动物密度均有明显影响。

在 7 月 27 日，绝大多数田块的节肢动物密度都处于峰顶，但不同种植方式间相比，混栽模式下的 Bt 稻与对照稻节肢动物密度均较低（BtR1，BtR2，BtR，CK1 分别为 2.69、2、1.36、4.39；CR1，CR2，CR，CK2 分别为 2.83、1.72、1.33、3.41）；同样在 8 月 11 日，混栽模式下的 Bt 稻与对照稻节肢动物密度，明显比不同种植模式下各处理田块低（BtR1，BtR2，BtR，CK1 分别为 1.56、1.69、0.92、2.32；CR1，CR2，CR，CK2 分别为 4.08、3.5、1.12、4.48），Bt 稻节肢动物密度显著低于对照稻（$t = 3.27$；$P < 0.05$）。

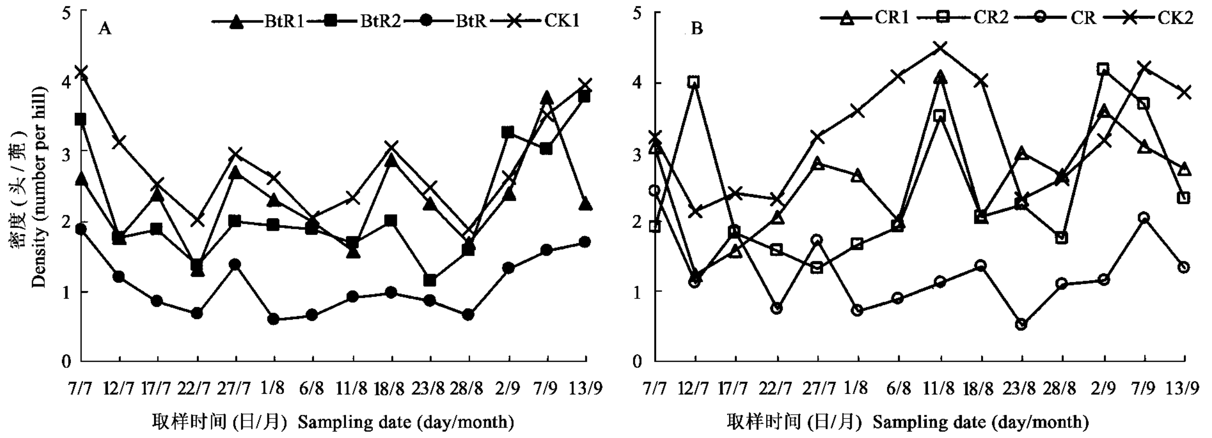

图 5 不同种植方式下稻田节肢动物个体密度动态

Fig. 5 Dynamics of individual density of arthropods in rice paddies under different cropping patterns

A :Bt 稻小区(行)Bt rice section (row);B :对照稻小区(行)Non-Bt section (row).

3 讨论

3.1 Bt 稻对稻田节肢动物群落的影响

Bt 稻对稻田节肢动物群落的影响是近年来国内转基因作物生态安全研究的热点之一,唐健等(2000)报道,与非转基因稻相比,Bt 水稻'克螟稻 2 号'对稻蓟马 *Thrips oryzae* 更敏感,受害程度极显著高于前者 ;傅强等(2003)报道两个转基因水稻品种对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的生长发育以及寄主选择无明显影响,但对白背飞虱成虫的羽化鲜重以及短翅率存在明显不利影响,其寄主选择也趋向 Bt 稻 ;刘志诚等(2002,2003)报道,Bt 稻田中非靶标害虫飞虱和叶蝉类的优势度及发生量在绝大多数时期和对照稻田上的无显著差异,但同时认为非靶标害虫优势度高于靶标害虫优势度,从而导致整体群落参数和各功能团优势度与对照水稻的无显著差异。从我们的研究结果来看, 整体上,同一种植模式下,Bt 稻与对照稻上的节肢动物群落物种丰富度、多样性指数、均匀度、优势集中性以及节肢动物个体密度都没显著性差异(表 1),这与刘志诚等(2003)的研究结果一致。但在水稻发育中期(7 月 27 日),Bt 稻节肢动物群落稳定性明显低于对照稻。结合具体的物种调查数据来看,这时正处于白背飞虱等非靶标害虫为主的危害时期,3 个处理及对照均是 Bt 稻的非靶标害虫优势度显著高于作为庇护所的对照稻($t = 3.49$;$P < 0.05$)。因此,结合上述报道,非靶标害虫密度及优势度在 Bt 水稻上的升高,此消彼长的平衡作用应该是群落参数比较无差异的重要的原因之一,但这种数量上平衡导致的群落参数的差异不显著,显然不能就说转 Bt 稻对稻田节肢动物群落无不利影响,就本研究的 Bt 稻而言,非靶标害虫如白背飞虱有明显的危害加重趋势。由于本试验采用的 Bt 稻与刘志诚等(2002,2003)及傅强等(2003)所用 Bt 稻不同,而 Bt 水稻的 Bt 基因插入位点是随机的,这是不是外源基因随机插入引起的位置效应或者说是一种非预期效应(贾士荣,2002),有待进一步证实。这些结果也显示出转基因作物的安全性评价个案(case-by-case)分析原则的必要(樊龙江和周雪平,2000)。

3.2 种植方式对 Bt 稻田节肢动物群落的影响

如何设置庇护所,尽可能增加敏感靶标害虫个体与在转基因作物上存活下来的抗性个体交配的几率,这是转基因作物抗性治理的关键。近年来国外对庇护所种植的面积比例、布局各方意见并不统一(Fava,2000)。如果单一种植转 Bt 玉米,一年内欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 就会产生抗性,而种植非 Bt 玉米作庇护所,抗性的产生将延迟 15 ~ 38 年(Onstand *et al*.,1999 ;Guse and Onstand, 2002)。他们提出,庇护所的比例在 20% ~ 25% 具有最优的经济和生态效应,庇护所可以成块种植于转基因作物田块附近,也可以若干列呈条状种植于转基因作物田块中。最新的研究表明,与庇护所比例因素相比,庇护所与转基因作物间距对于庇护所效应的影响同样重要,Carrière 等(2004)对作物空间格局分析发现,庇护所与转 Bt 棉花相距 750 m 能发挥最大的延缓靶标害虫抗性的作用。

从本研究结果来看,混栽方式 Bt 稻上节肢动物群落与块块种植方式 Bt 稻上的节肢动物群落明显不同 :首先,在 8 月份,混栽方式下其多样性、均匀度和优势集中性曲线均与另外 2 个处理中 Bt 稻的曲线动态呈相反趋势,表现为多样性、均匀度下降,优势集中性上升,这与其对照稻庇护所动态趋势一致,但后者延迟 1.5 周才出现波动。其次,整个水稻生

育期内，混栽方式下的对照稻与 Bt 稻的节肢动物密度，物种数明显低于其他种植方式下各处理田块。在 8 月 11 日，按块块种植的处理与单一对照中的 Bt 稻田块，节肢动物群落的第一和第二优势物种均为 2 种蜘蛛；其对应的非 Bt 田块上则为稻纵卷叶螟与 1 种蜘蛛。但是混载方式下转 Bt 与非转 Bt 田块上优势物种完全相同，均为沟渠豹蛛与稻纵卷叶螟。8 月 23 日在混栽方式下非转 Bt 田块上优势物种也为沟渠豹蛛与稻纵卷叶螟，而对应 Bt 田块上却为沟渠豹蛛与赤胸步甲 *Dolichus halensis*。可见，8 月份混栽方式下转 Bt 稻节肢动物群落动态与其他种植方式下转 Bt 田块的不同，原因在于靶标害虫稻纵卷叶螟的优势度提高。而相应对照稻上的靶标害虫发生高峰推迟，说明通过田间转移，靶标害虫成功地在对照稻上存活下来，该种植方式产生了明显的庇护效果。

综上所述，与块块种植方式比，混栽方式下的庇护所效应明显，而且其 Bt 稻与对照稻上的整体节肢动物数量水平明显偏低，既有利于生态环境的保护，又保证了产量。另外由于是混栽，Bt 稻用量相对少，既有利于进一步减小对靶标害虫环境压力，又降低了生产投入成本，保证更大的经济效益。若相应 Bt 稻食品安全性评价（王中华等，2003）认可了其与常规水稻的实质等同性（樊龙江和周雪平，2000），那么将来的推广中，庇护所策略完全可以采取更彻底的混栽方式，从催芽起就将 Bt 稻与常规稻混在一起，即混种栽培。

作为群落水平的研究，我们设置的试验田面积还是偏小，以及设计方面存在的一些系统误差，如小区间距较小，调查的方法费时却又不太精确，有待进一步改进与完善。

致谢　对参与本研究田间调查工作的华中农业大学 2000 级本科实习生郑亚莉、黄绍哲、胡晓萍、袁昌乐，表示感谢。

参 考 文 献（References）

Carrière Y，Dutilleul P，Ellers-Kirk C，Pedersen B，Haller S，Antilla L，Dennehy JT，Tabashnik EB，2004. Sources，sinks，and the zone of influence of refuge for managing insect resistance to Bt crops. *Ecological Applications*，14(6)：1 615 – 1 623.

Cui JJ，Xia JY，2000. Studies on the components of diversity of the community in transgenic Bt cotton. *Acta Ecologica Sinica*，20(5)：824 – 829. [崔金杰，夏敬源，2000. 转 Bt 基因棉田昆虫群落多样性及其影响因素的研究. 生态学报，20(5)：824 – 829]

Deng SD，Xu J，Zhang QW，Zhou SW，Xu GJ，2003. Effect of transgenic Bt cotton on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pests. *Acta Entomologica Sinica*，46 (1)：1 – 5. [邓曙东，徐静，张青文，周世文，徐冠军，2003. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及天敌种群动态的影响. 昆虫学报，46(1)：1 – 5]

Fan LJ，Zhou XP，2000. The Biosafety of Transgenic Crops：Debates and Facts. Beijing：China Agriculture Press. 3 – 17. [樊龙江，周雪平，2000. 转基因作物安全性：争论与事实. 北京：中国农业出版社. 3 – 17]

Fava Al，2000. EPA requests new refuge ideas. *Cotton Grower*，36(4)：8 – 10.

Fu Q，Wang F，Li DH，Yao Q，Lai FX，Zhang ZT，2003. Effects of insect-resistant transgenic lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Entomologica Sinica*，46(6)：697 – 704. [傅强，王峰，李东虎，姚青，赖凤香，张志涛，2003. 转基因抗虫水稻 MSA 和 MSB 对非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱的影响. 昆虫学报，46(6)：697 – 704]

Guse CA，Onstand DW，Buschman LL，Porter P，Higgins RA，Sloderbeck PE，Cronholm GB，Peairs FB，2002. Modeling the development of resistance by stalk-boring Lepidoptera (Crambidae) in areas with irrigated transgenic corn. *Environ. Entomol.*，31(4)：676 – 685.

Jia SR，2002. International debates on biosafety of transgenic crops：the analysis of several fairs. http://www.biotech.org.cn/news/news/show.php?id = 443. [贾士荣，2002. 国际转基因作物的安全性争论 – 几个事件的剖析. http://www.biotech.org.cn/news/news/show.php?id = 443]

Liu ZC，Ye GY，Hu C，Datta SK，2002. Effects of Bt transgenic rice on population dynamics of main non-target insect pests and dominant spider species in rice paddies. *Acta Phytophylacica Sinica*，9(2)：138 – 144. [刘志诚，叶恭银，胡萃，Datta SK，2002. 转 Bt 基因水稻对主要非靶标害虫和蜘蛛优势种田间种群动态的影响. 植物保护学报，9(2)：138 – 144]

Liu ZC，Ye GY，Hu C，Datta SK，2003. Impact of transgenic indica rice with a fused gene of *Cry* Ⅰ *Ab*/*Cry* Ⅰ *Ac* on the rice paddy arthropod community. *Acta Entomologica Sinica*，46(4)：454 – 465. [刘志诚，叶恭银，胡萃，Datta SK，2003. 转 *Cry* Ⅰ *Ab*/*Cry* Ⅰ *Ac* 基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报，46(4)：454 – 465]

Onstand DW，Guse CA，1999. Economic analysis of transgenic maize and nontransgenic refuge for managing European corn borer (Lepidoptera：Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*，92(6)：1 256 – 1 265.

Tang J，Yang BJ，Jiang YN，Ye GY，Shu QY，2000. Preliminary study on *Thrips oryzae* virulence to Bt gene transformed rice Kemingdao 2. *Chinese J. Rice Sci.*，14(4)：241 – 242. [唐健，杨保军，蒋跃南，叶恭银，舒庆尧，2000. 稻蓟马危害转 Bt 基因水稻克螟稻 2 号研究初报. 中国水稻科学，14(4)：241-242]

Tang QY，Feng MG，1997. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing：China Agriculture Press. 108 – 125. [唐启义，冯明光，1997. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京：中国农业出版社. 108 – 125]

Wang ZH，Wang Y，Cui HR，Shu QY，Xia YW，2002. A preliminary study on toxicological evaluation of transgenic rice flour with a synthetic *Cry* Ⅰ *Ab* gene from *Bacillus thuringiensis*. *Scientia Agricultura Sinica*，35 (2)：1 487 – 1 492. [王中华，王茵，崔海瑞，舒庆尧，夏英武，2002. Bt 水稻‘克螟稻’稻米毒理性评价研究初报. 中国农业科学，35(2)：1 487 – 1 492]

Zhang XX，2001. Insect Ecology and Forecast. 3rd ed. Beijing：China Agriculture Press. 151 – 155. [张孝羲，2001. 昆虫生态及预测预报. 第三版. 北京：中国农业出版社. 151 – 155]

（责任编辑：袁德成）